

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

542943

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. August 2004 (19.08.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/070407 A1(51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01R 31/36

(72) Erfinder; und

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/003232

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHOCH, Eberhard
[DE/DE]; Weilimdorfer Strasse 85, 70469 Stuttgart (DE).(22) Internationales Anmeldedatum:
29. September 2003 (29.09.2003)(74) Gemeinsamer Vertreter: ROBERT BOSCH GMBH;
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

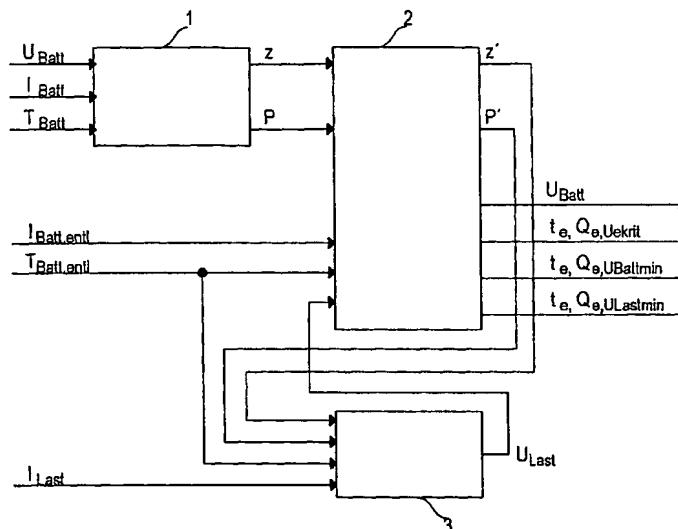
(81) Bestimmungsstaaten (national): BR, CN, IN, JP, KR, US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).(30) Angaben zur Priorität:
103 01 823.9 20. Januar 2003 (20.01.2003) DE

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02
20, 70442 Stuttgart (DE).Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING THE CHARGE THAT CAN BE DRAWN FROM AN ENERGY AC-
CUMULATOR(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ERMITTELN DER AUS EINEM ENERGIESPEICHER ENT-
NEHMBAREN LADUNG

(57) Abstract: The invention relates to a device for determining the charge that can be drawn from an energy accumulator, in particular a battery, up to a predetermined exhaustion of the charge. A particularly precise prediction of the charge can be achieved by using a mathematical energy accumulator model, which represents the electric characteristics of the energy accumulator in mathematical form and which is used by a charge predictor (2) to calculate the charge that can be drawn with a predetermined discharge current ($I_{Batt,entl}$). Said charge predictor (2) is connected to a condition variable and condition parameter estimator (1), which determines condition variables and/or parameters for the mathematical energy accumulator model from the current operating variables (U_{Batt} , I_{Batt} , T_{Batt}) of the energy accumulator.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Ermitteln der aus einem Energiespeicher, insbesondere einer Batterie, bis zu einem vorgegebenen Entladeschluss entnehmbaren Ladung. Eine besonders genaue Ladungsprädiktion kann erreicht werden, wenn ein mathematisches Energiespeichermodell verwendet wird, das die elektrischen Eigenschaften des Energiespeichers mathematisch darstellt, und mit dessen Hilfe ein Ladungsprädiktor (2) die bei einem vorgegebenen Entladestrom ($I_{\text{Batt,entl}}$) entnehmbare Ladung berechnet, wobei der Ladungsprädiktor (2) mit einem Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) verbunden ist, der aus aktuellen Betriebsgrößen (U_{Batt} , I_{Batt} , T_{Batt}) des Energiespeichers Zustandsgrößen und/oder Parameter für das mathematische Energiespeichermodell ermittelt.

5

Beschreibung

10

Verfahren und Vorrichtung zum Ermitteln der aus einem
Energiespeicher entnehmbaren Ladung

15 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Ermitteln der aus
einem Energiespeicher, insbesondere einer Batterie, bis zu
einem vorgegebenen Entladeschluss entnehmbaren Ladung gemäss
dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie ein
entsprechendes Verfahren gemäss dem Oberbegriff des
Patentanspruchs 9.

20

Bei elektrischen Energiespeichern, wie z.B. Batterien, ist
die aktuell entnehmbare Ladung eine wichtige Grösse, da sie
Ausdruck für die noch verfügbare Energiereserve bis zum
Unterschreiten einer vom Energiespeicher geforderten
25 Mindestleistungsfähigkeit ist. Gerade auf dem Gebiet der
Automobiltechnik ist eine genaue Vorhersage der entnehmbaren
Ladung entscheidender als die Kenntnis des aktuellen, über
die mittlere Säurekonzentration im Bleiakkumulator
definierten, Ladezustands der Batterie, da dieser nur eine
30 Information über die bereits entnommene Ladung gegenüber
Vollladung liefert, nicht jedoch über die noch entnehmbare
Ladungsmenge.

Die gesamte noch entnehmbare Ladung bestimmt unmittelbar die
35 Verfügbarkeit der am Energiespeicher angeschlossenen
elektrischen Verbraucher. Die Kenntnis der entnehmbaren
Ladung kann außerdem für steuer- oder regelungstechnische
Massnahmen, wie z.B. für ein Energiemanagement in einem
Fahrzeug, genutzt werden. Dadurch wird es z.B. möglich,
40 rechtzeitig vor Erreichen einer Mindestladungsreserve

- 5 verbrauchsmindernde Maßnahmen, wie z.B. das Abschalten oder Dimmen weniger wichtiger Verbraucher, einzuleiten.

Aus der EP-0376967 B1 ist es bereits bekannt, die aus einem Energiespeicher entnehmbare Ladung zu bestimmen. Dabei wird
10 die entnehmbare Ladung über empirisch ermittelte Kennlinienfelder, die in einer Recheneinheit hinterlegt sind, in Abhängigkeit eines konstanten Entladestromes, der Batterietemperatur und von Alterungserscheinungen auf Grundlage der Peukert-Formel abgeschätzt. Dadurch ist es zwar
15 möglich, die entnehmbare Ladung bis zu einem Entladeschluss zu ermitteln, der durch das vollständige Entladen des Energiespeichers gekennzeichnet ist, dagegen ist es nicht möglich, die entnehmbare Ladung bis zum Unterschreiten einer vorgegebenen Mindest-Klemmenspannung oder bis zum
20 Unterschreiten einer Mindest-Leistungsfähigkeit des Energiespeichers zu bestimmen. Darüber hinaus ist die Bestimmung der entnehmbaren Ladung auf Grundlage der Peukert-Formel relativ ungenau, da verschiedene Effekte, die den Zustand des Entladeschlusses beeinflussen, wie z.B. ein
25 Aktivmasseverlust an den Elektroden durch Batteriealterung oder die Eisbildung an den Elektroden bei niedrigen Temperaturen, nicht berücksichtigt werden.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine
30 Vorrichtung sowie ein Verfahren zum Ermitteln der aus einem Energiespeicher entnehmbaren Ladung zu schaffen, die bzw. das eine sehr genaue Bestimmung der entnehmbaren Ladung bis zu einem vorgegebenen Entladeschlusskriterium ermöglicht.

35 Gelöst wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung durch die im Patentanspruch 1 bzw. 9 angegebenen Merkmale. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

40 Der wesentliche Gedanke der Erfindung besteht darin, einen Ladungsprädiktor, d.h. eine Einrichtung zur Berechnung der

5 entnehmbaren Ladung, vorzusehen, der die aus dem
Energiespeicher entnehmbare Ladung unter Berücksichtigung
eines vorgegebenen Entladestromverlaufs und
Temperaturverlaufs mit Hilfe eines mathematischen
Energiespeichermodells berechnet. Das Energiespeichermodell
10 ist dabei ein mathematisches Modell, das die auf
verschiedenen physikalischen Effekten beruhenden elektrischen
Eigenschaften des Energiespeichers anhand verschiedener
mathematischer Modelle darstellt. Die mathematischen Modelle
beschreiben funktionale Zusammenhänge zwischen
15 Zustandsgrößen, wie beispielsweise Spannungen, Strömen,
Temperatur etc., und umfassen verschiedene Parameter.

Die vom Ladungsprädiktor durchgeführte Ladungsberechnung
erfolgt ausgehend vom aktuellen Zustand des Energiespeichers.
20 Die im Ladungsprädiktor hinterlegten mathematischen Modelle
werden daher zunächst auf den aktuellen Betriebszustand des
Energiespeichers initialisiert. Hierzu ist ein
Zustandsgrößen- und Parameterschätzer vorgesehen, der aus den
aktuellen Betriebsgrößen, wie beispielsweise der Spannung,
25 dem Strom und der Temperatur des Energiespeichers, die
Zustandsgrößen und gegebenenfalls auch Parameter des
Energiespeichermodells ermittelt. Für diejenigen
Zustandsgrößen des Energiespeichers, die während des Betriebs
nicht direkt gemessen werden können, kann beispielsweise ein
30 bekannter Kalman-Filter als Zustandsgrößen- und
Parameterschätzer verwendet werden. Ausgehend von diesem
Initialisierungszustand errechnet der Ladungsprädiktor dann
die aus dem Energiespeicher entnehmbare Ladung bis zu einem
vorgegebenen Entladeschluss, d.h. bis zu einem oder mehreren
35 vorgegebenen Entladeschlusskriterien, die nachstehend noch
ausführlich erläutert werden.

Das Energiespeichermodell umfasst im Falle einer Batterie
wenigstens ein Modell für den Innenwiderstand R_i der
40 Batterie, einen Säurediffusionswiderstand R_k und eine
Durchtrittspolarisation U_p .

5

Der Zustands- und Parameterschätzer ermittelt als Zustandsgrößen Z zumindest eine Ruhespannung U_{c0} der Batterie und eine Konzentrationspolarisation U_k . Sofern die Batteriekapazität und damit auch die Säurekapazität C_0 der verwendeten Batterie unbekannt ist, ist auch diese zu berechnen. Hierzu ermittelt der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer vorzugsweise zumindest die Parameter R_{i025} , $U_{e,grenz}$, R_{k025} , U_{D025} und C_0 . Diese Parameter werden im folgenden noch ausführlich erläutert.

15

Das Entladeschlusskriterium, bis zu dem die entnehmbare Ladung berechnet wird, kann beispielsweise das Erreichen bzw. Unterschreiten einer vorgegebenen minimalen Elektrolytspannung U_{ekrit} , einer minimalen Klemmenspannung $U_{Battmin}$ oder das Erreichen einer vorgegebenen Mindestleistungsfähigkeit $U_{lastmin}$ sein. Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die entnehmbare Ladung bis zum Erreichen bzw. Unterschreiten von wenigstens zwei, vorzugsweise aller drei, der genannten Entladeschlusskriterien berechnet.

20

25

Das Entladeschlusskriterium der minimalen Elektrolytspannung U_{ekrit} ist erfüllt, wenn die Elektrolytspannung U_e unter die vorgegebene minimale Elektrolytspannung U_{ekrit} fällt. Die vorgegebene Elektrolytspannung U_{ekrit} berücksichtigt dabei vorzugsweise den Aktivmasseverlust durch Batteriealterung und/oder die Eisbildung an den Elektroden bei niedrigen Temperaturen.

30

35

Das Entladeschlusskriterium der minimalen Klemmenspannung $U_{Battmin}$ ist erfüllt, wenn die Klemmenspannung U_{Batt} unter die vorgegebene minimale Klemmenspannung $U_{Battmin}$ fällt.

40

Das Kriterium der Mindestleistungsfähigkeit ist dann erreicht, wenn eine Netzspannung, wie z.B. die Spannung an einer vom Energiespeicher versorgten Last, unter einen

5 vorgegebenen Schwellenwert sinken würde, wenn der
Energiespeicher über eine vorgegebene Zeitdauer mit der Last
belastet werden würde. Um festzustellen, ob die Lastspannung
bei einem vorgegebenen Laststromverlauf unter einen
vorgegebenen Schwellenwert sinken würde, ist ein
10 Spannungsprädiktor vorgesehen, der in Abhängigkeit vom
Laststromverlauf die zugehörige Lastspannung ermittelt. In
einem Kraftfahrzeug kann somit ermittelt werden, wieviel
Ladung noch aus der Kraftfahrzeugbatterie bei einem
vorgegebenen Entladestrom- und Batterietemperaturverlauf
15 entnehmbar ist, bis nur noch soviel Ladung enthalten ist,
dass die Netzspannung an einer zuzuschaltenden Last, bei
vorgegebenem Laststromverlauf, nicht unter einen
vorgegebenen Schwellenwert fällt. Dies ist im Falle eines
Kfz-Bordnetzes vor allem notwendig, um zu verhindern, dass
20 nicht mehr Ladung aus der Batterie entnommen wird, wie z.B.
für einen erneuten Startvorgang benötigt wird.

Wahlweise können auch andere Entladeschlusskriterien
definiert werden.

25 Die Ermittlung der aus dem Energiespeicher entnehmbaren
Ladung wird in vorgegebenen zeitlichen Abständen vom
Ladungsprädiktor wiederholt, wobei jeweils aktuelle Werte für
den Entladestrom $I_{\text{Batt,entl}}$ und die Energiespeichertemperatur
30 $T_{\text{Batt,entl}}$ berücksichtigt werden. Der Ladungsprädiktor ist
vorzugsweise auch in der Lage, die Zeit bis zum Erreichen des
vorgegebenen Entladeschlusskriteriums zu bestimmen.

Der Zustands- und Parameterschätzer arbeitet vorzugsweise auf
35 der Grundlage des gleichen Energiespeichermodells wie der
Ladungsprädiktor.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der beigefügten
Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

5 Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Ermitteln der aus einer Batterie entnehmbaren Ladung, mit einem Ladungsprädiktor und einem Spannungsprädiktor;

Fig. 2 ein Ersatzschaltbild für einen Bleiakkumulator;

10

Fig. 3a ein Flussdiagramm zur Darstellung der wesentlichen Verfahrensschritte bei der Berechnung der entnehmbaren Ladung durch einen Ladungsprädiktor;

15 Fig. 3b,c ein Flussdiagramm zur Darstellung der Überprüfung verschiedener Entladeschlusskriterien;

Fig. 3d ein Flussdiagramm zur Darstellung der wesentlichen Verfahrensschritte bei der Berechnung einer minimalen

20 Batteriespannung durch einen Spannungsprädiktor; und

Fig. 4 eine Darstellung der Abhängigkeit der Elektrolytspannung von verschiedenen physikalischen Effekten.

25 1. Vorrichtung zur Ermittlung der entnehmbaren Ladung

Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Berechnung der aus einer Batterie, insbesondere einer Fahrzeugbatterie, entnehmbaren Ladung. Diese umfasst einen
30 Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1, einen Ladungsprädiktor 2 und einen Spannungsprädiktor 3. Die Vorrichtung ist in der Lage, die aus der Batterie (nicht gezeigt) entnehmbare Ladung, ausgehend von einem aktuellen Batteriezustand U_{Batt} , I_{Batt} , T_{Batt} und einem vorgegebenen
35 Entladestromverlauf $I_{\text{Batt,entl}}$, bis zum Erreichen eines vorgegebenen Entladeschlusses zu berechnen. Der Entladestromverlauf $I_{\text{Batt,entl}}$ kann dabei ein beliebig vorgegebener Stromverlauf oder ein konstanter Strom (I_{Batt}) sein.

40

5 Der Ladungsprädiktor 2 und der Spannungsprädiktor 3 umfassen ein mathematisches Batteriemodell, welches die elektrischen Eigenschaften der Fahrzeugbatterie beschreibt. Bei Kenntnis der aktuellen Betriebsgrößen der Batterie, nämlich der aktuellen Batteriespannung U_{Batt} , des aktuellen Batteriestroms I_{Batt} und der aktuellen Batterietemperatur T_{Batt} , sowie unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Entladestromverlaufs $I_{\text{Batt,entl}}$ und eines vorgegebenen Temperaturverlaufs $T_{\text{Batt,entl}}$ kann somit die aus der Batterie entnehmbare Ladung $Q_{\text{e,Ukrit}}, Q_{\text{e,U Battmin}}, Q_{\text{e,U Lastmin}}$ bis zum Erreichen dreier unterschiedlicher Entladeschlusskriterien (die im vorliegenden Beispiel konjunktiv verknüpft sind) berechnet werden. Der Entladestromverlauf $I_{\text{Batt,entl}}$ und der Temperaturverlauf $T_{\text{Batt,entl}}$ während der Entladung können entweder von einem Steuergerät (nicht gezeigt) vorgegeben oder aus den aktuellen Betriebsgrößen der Batterie $U_{\text{Batt}}, I_{\text{Batt}}, T_{\text{Batt}}$ ermittelt werden.

Der Ladungsprädiktor 2 und der Spannungsprädiktor 3 umfassen ein mathematisches Batteriemodell, das die elektrischen Eigenschaften der Fahrzeugbatterie mathematisch beschreibt und das auf dem in Fig. 2 gezeigten Ersatzschaltbild für einen Bleiakкумулятор beruht.

2. Ersatzschaltbild eines Bleiakкумуляtors

30 Fig. 2 zeigt das Ersatzschaltbild eines Bleiakкумуляtors. Die Zählrichtung des Batteriestroms I_{Batt} wurde wie üblich positiv für Laden und negativ für Entladen gewählt. Die einzelnen Zustandsgrößen und Komponenten sind wie folgt, von links nach rechts:

40	$R_i(U_{\text{Co}}, U_{\text{e}}, T_{\text{Batt}})$	ohmscher Innenwiderstand, abhängig von der Ruhespannung U_{Co} , der Elektrolytspannung U_{e} und der Säuretemperatur T_{Batt}
	U_{Ri}	ohmscher Spannungsabfall
	C_0	Säurekapazität

5	U_{Co}	Ruhespannung
	$R_k(U_{Co}, T_{Batt})$	Säurediffusionswiderstand, abhängig von der Ruhespannung U_{Co} (Entladegrad) und der Säuretemperatur T_{Batt}
	$\tau_k = R_k \cdot C_k$	Zeitkonstante der Säurediffusion (wird als konstant in der Größenordnung von 10 min angenommen)
10	U_k	Konzentrationspolarisation
	$U_e = U_{Co} + U_k$	Elektrolytspannung
	$\Delta U_{Nernst}(U_e, T_{Batt})$	Spannungsdifferenz zwischen der Klemmenspannung und der Elektrolytspannung U_e , abhängig von der Elektrolytspannung U_e und der Säuretemperatur T_{Batt}
15	$U_D(I_{Batt}, T_{Batt})$	stationäre Durchtrittspolarisation, abhängig vom Batteriestrom I_{Batt} und der Säuretemperatur T_{Batt}
20	U_{Batt}	Klemmenspannung der Batterie

Die einzelnen Größen sind zurückzuführen auf verschiedene physikalische Effekte der Batterie, die im folgenden kurz erläutert werden:

Die Spannung U_{Ri} ist der ohmsche Spannungsabfall am Innenwiderstand R_i der Batterie, der wiederum von der Ruhespannung U_{Co} , der Elektrolytspannung U_e und der Säuretemperatur T_{Batt} abhängt.

Die Ruhespannung U_{Co} ist proportional zur mittleren Säurekonzentration in der Batterie und ist gleich der Klemmenspannung der Batterie, wenn die Säurekonzentration nach einer Ruhephase der Batterie überall gleich groß ist.

Die Konzentrationspolarisation U_k berücksichtigt die Abweichung der Säurekonzentration am Reaktionsort, d.h. den Elektroden, vom Mittelwert in der Batterie. Bei der Batterieentladung besteht die niedrigste Säurekonzentration

5 in den Poren der Elektroden, da die Säure dort verbraucht wird und neue Säure erst aus dem Elektrolyt nachfließen muss.

Die Elektrolytspannung U_e berücksichtigt die Abweichung der Ruhespannung U_{c0} durch die Konzentrationspolarisation in
10 Abhängigkeit von der Säurekonzentration am Reaktionsort. Dabei gilt $U_e = U_{c0} + U_k$.

Der Term $\Delta U_{\text{Nernst}}(U_e, T_{\text{Batt}})$ beschreibt die Spannungsdifferenz zwischen dem Elektrodenpotential und der Elektrolytspannung,
15 die wiederum abhängig ist von der lokalen Säurekonzentration am Reaktionsort und von der Säuretemperatur T_{Batt} .

Die stationäre Durchtrittspolarisation $U_D(I_{\text{Batt}}, T_{\text{Batt}})$ berücksichtigt einen elektrischen Übergangswiderstand
20 zwischen einer ersten Elektrode der Batterie und dem Elektrolyt und zwischen dem Elektrolyt und der zweiten Elektrode der Batterie und ist wiederum abhängig vom Batteriestrom I_{Batt} und der Säuretemperatur T_{Batt} .

25 Die Diffusion der Säure aus dem Elektrolyt zum Reaktionsort, d.h. zu den Elektroden, während der Entladung, wird durch den Säurediffusionswiderstand $R_k(U_{c0}, T_{\text{Batt}})$ beschrieben, der wiederum abhängig ist von der Ruhespannung U_{c0} und der Säuretemperatur T_{Batt} .

30

3. Das mathematische Energiespeichermodell

Das mathematische Energiespeichermodell umfasst mehrere Modelle, die den ohmschen Innenwiderstand der Batterie
35 $R_i(U_{c0}, U_e, T_{\text{Batt}})$, den Säurediffusionswiderstand $R_k(U_{c0}, T_{\text{Batt}})$, die Spannungsdifferenz $\Delta U_{\text{Nernst}}(U_e, T_{\text{Batt}})$ zwischen dem Elektrodenpotential und der Elektrolytspannung und die stationäre Durchtrittspolarisation $U_D(I_{\text{Batt}}, T_{\text{Batt}})$ beschreiben. Wahlweise können auch mehr oder weniger mathematische Modelle
40 berücksichtigt werden. Für die einzelnen im folgenden

5 aufgeführten Größen können auch andere mathematische Modelle angesetzt werden.

3.1. Ohmscher Innenwiderstand:

$$10 \quad R_i(U_{C0}, U_e, T_{Batt}) = R_{i0}(T_{Batt}) * (1 + R_{i,fakt} * (U_{C0max} - U_{C0}) / (U_e - U_{e,grenz})),$$

mit

$$R_{i0}(T_{Batt}) = R_{i025} / (1 + TK_{Lfakt} * (T_{Batt} - 25^\circ C))$$

15

Dabei sind:

R_{i025} ohmscher Innenwiderstand bei Vollladung
und $T_{Batt} = 25^\circ C$

20 TK_{Lfakt} Temperaturkoeffizient des Batterieleitwerts

$R_{i,fakt}$ Kennfeldparameter

U_{C0max} Maximale Ruhespannung der vollgeladenen
Batterie

25 $U_{e,grenz}$ Elektrolytspannung bei Entladeschluss
(alterungsabhängig)

3.2. Säurediffusionswiderstand

30 Zur Approximation des Säurediffusionswiderstandes R_k kann
z.B. folgendes Modell angesetzt werden:

$$R_k(U_{C0}, T_{Batt}) = R_{k0}(T_{Batt}) * (1 + R_{k,fakt1} * (U_{C0max} - U_{C0}) + R_{k,fakt2} * (U_{C0max} - U_{C0})^2 + R_{k,fakt3} * (U_{C0max} - U_{C0})^3)$$

35

mit

$$R_{k0}(T_{Batt}) = R_{k025} * \exp(-(E_{Pk0}/J) / 8,314 * (1/(273,15 + T_{Batt}/^\circ C) - 1/298,15)) \quad (\text{Arrhenius-Ansatz})$$

40

und

- 5
 R_{k025} Säurediffusionswiderstand bei Vollladung und $T_{Batt}=25^{\circ}\text{C}$
 E_{rk0} Aktivierungsenergie
 $R_{k,fakt1}, R_{k,fakt2},$
 10 $R_{k,fakt3}$ Polynom-Koeffizienten

3.3 Spannungsdifferenz ΔU_{Nernst} zwischen dem Elektrodenpotential und der Elektrolytspannung U_e

- 15 Für die Spannungsdifferenz zwischen dem Elektrodenpotential und der Elektrolytspannung kann beispielsweise folgendes Modell angesetzt werden:

$$\Delta U_{Nernst}(U_e, T_{Batt}) = \alpha \cdot \exp(-(U_e - U_{ekn})/\beta) + TK_{U00} \cdot (T_{Batt} - 25^{\circ}\text{C});$$

- 20 mit

$\alpha, \beta,$

U_{ekn} Kennlinienparameter

- 25 TK_{U00} Temperaturkoeffizient des Elektrodenpotentials

3.4. Stationäre Durchtrittspolarisation

- 30 Für die stationäre Durchtrittspolarisation U_D kann folgendes Modell angesetzt werden:

$$U_D(I_{Batt}, T_{Batt}) = U_{D0}(T_{Batt}) \cdot \ln(I_{Batt}/I_{D0}),$$

- 35 mit

$$U_{D0}(T_{Batt}) = U_{D025} \cdot (1 + TK_{UD01} \cdot (T_{Batt} - 25^{\circ}\text{C}) + TK_{UD02} \cdot (T_{Batt} - 25^{\circ}\text{C})^2 + TK_{UD03} \cdot (T_{Batt} - 25^{\circ}\text{C})^3)$$

- 40 U_{D025} stationäre Durchtrittsspannung bei $I_{Batt}=e \cdot I_{D0}$ und $T_{Batt}=25^{\circ}\text{C}$

- 5 I_{D0} Durchtrittsström für $U_D=0V$
 $TK_{UD01}, TK_{UD02},$
 TK_{UD02} Temperaturkoeffizienten erster, zweiter und
dritter Ordnung der Durchtrittspolarisation

10 3.5. Einfluss der Säureschichtung in der Batterie

Eine Säureschichtung wird insbesondere bei Bleibatterien mit flüssigem Elektrolyt aufgebaut, wenn die Batterie ausgehend von einem niedrigen Ladezustand, d.h. niedriger mittlerer Säurekonzentration, mit hohem Strom geladen wird. Durch den hohen Ladestrom bildet sich im Bereich der Elektroden (Reaktionsort) Säure hoher Konzentration, die wegen ihres höheren spezifischen Gewichts nach unten absinkt, so dass im oberen Bereich die Säure niedriger Konzentration zurückbleibt. Die Batterie verhält sich bei Säureschichtung dadurch wie eine Batterie mit verringerter Kapazität (und somit verringerter entnehmbarer Ladung), da nur noch der untere Batteriebereich mit hoher Säurekonzentration an der Reaktion teilnimmt. Außerdem wird das Elektrodenpotential durch die erhöhte Säurekonzentration im unteren Bereich über den Wert einer ungeschichteten Batterie angehoben. Da die Ruhespannung U_{C0} und Säurekapazität C_0 vom Zustandsgrößen- u. Parameterschätzer 1 ermittelt und adaptiert werden, wird auch die Auswirkung der Säureschichtung auf die entnehmbare Ladung bei der Ladungsprädiktion durch den Ladungsprädiktor 2 bereits implizit berücksichtigt. Das Verfahren berücksichtigt somit auch die Verringerung der entnehmbaren Ladung bei Batterien mit Säureschichtung.

35 4. Berechnung der aus dem Energiespeicher entnehmbaren Ladung

Fig. 3a zeigt die Berechnung der aus einer Fahrzeugbatterie entnehmbaren Ladung Q_e . Der Ladungsprädiktor 2 führt hierzu eine numerische Berechnung durch und ermittelt die Zustandsgrößen $U_{C0}, U_k, U_e, \Delta U_{Nernst}, U_{Ri}$ und U_{Batt} des

- 5 Batteriemodells von Fig. 2. Im einzelnen wird die Berechnung wie folgt durchgeführt:

In Block 10 wird die in einem Zeitschritt t_{sample} aus der Batterie entnommene Ladung q_k bei einem angenommenen
 10 Entladestromverlauf $I_{\text{Batt,entl}}$ berechnet und iterativ addiert. Der Entladestromverlauf $I_{\text{Batt,entl}}$ kann z.B. konstant sein und dem Batteriestrom I_{Batt} entsprechen oder ein beliebiger vorgegebener Stromverlauf sein. Es gilt:

$$15 \quad q_{k+1}' = q_k' + I_{\text{Batt,entl}} * t_{\text{sample}}$$

$$t_{k+1}' = t_k' + t_{\text{sample}}$$

Die Startwerte q_0' und t_0' für diese Berechnung sind dabei:

20

$$q_0' = 0, \quad t_0' = 0$$

Diese iterative Berechnung wird solange durchgeführt, bis ein vorgegebenes Entladeschlusskriterium erfüllt ist. Die aus der
 25 Batterie entnehmbare Ladung ist dann $Q_e = q_{k+1}'$, und die noch verbleibende Zeit bis zum Erreichen des Entladeschlusskriteriums bei dem vorgegebenen Entladestrom $I_{\text{Batt,entl}}$ ist $t_e = t_{k+1}'$.

30 In den Blöcken 11 bis 15 werden die stationäre Durchtrittspolarisation $U_D(I_{\text{Batt,entl}}, T_{\text{Batt,entl}})$, die Ruhespannung $U_{\text{Co},k+1}'$, die Konzentrationspolarisation $U_{k,k+1}'$, die Elektrolytspannung $U_{e,k+1}'$, der Wert $\Delta U_{\text{Nernst},k+1}'$, der ohmsche Spannungsabfall $U_{\text{Ri},k+1}'$ und die Batteriespannung $U_{\text{Batt},k+1}'$
 35 berechnet. Die Gleichungen lauten dabei im einzelnen:

$$U_{\text{Co},k+1}' = U_{\text{Co},0}' + q_{k+1}' / C_0'$$

$$\text{Startwerte: } U_{\text{Co},0}' = U_{\text{Co}}, \quad C_0' = C_0$$

40

$$U_{k,k+1}' = U_{k,k}' + (I_{\text{Batt,entl}} * R_k(U_{\text{Co},k+1}', T_{\text{Batt,entl}}) - U_{k,k}') * t_{\text{sample}} / \tau_{\text{auk}}$$

5

$$U_{e,k+1}' = U_{c0,k+1}' + U_{k,k+1}'$$

$$\Delta U_{\text{Nernst},k+1}' = \alpha \cdot \exp(-(U_{e,k+1}' - U_{ekn}) / \epsilon) + TK_{U00} \cdot (T_{\text{Batt,entl}} - 25^\circ\text{C})$$

10

$$\text{Startwerte: } U_{k0}' = U_k, R_{k025}' = R_{k025}$$

$$U_{Ri,k+1}' = R_i(U_{c0,k+1}', U_{c0,k+1}', T_{\text{Batt,entl}}) \cdot I_{\text{Batt,entl}}$$

15

$$\text{Startwerte: } R_{i025}' = R_{i025}, U_{e,\text{grenz}}' = U_{e,\text{grenz}}$$

$$U_{\text{Batt},k+1}' = U_{Ri,k+1}' + U_{e,k+1}' + {}^oU_{\text{Nernst},k+1}' + U_D'$$

20

Dabei ist $U_{\text{Batt},k+1}'$ mit dem Index $k+1$ ein neuer Wert nach einer Iteration. Die Iteration wird solange durchgeführt, bis ein vorgegebenes Entladeschlusskriterium, im vorliegenden Beispiel drei unterschiedliche Entladeschlusskriterien gleichzeitig, erfüllt sind.

25

Der Vergleich der Zustandsgrößen mit den verschiedenen Entladeschlusskriterien ist in den Fig. 3b und 3c dargestellt. Das erste Entladeschlusskriterium ist das Erreichen einer kritischen Elektrolytspannung $U_{e,\text{krit}}$, die von der Säurekonzentration im Elektrolyt, der Batterietemperatur $T_{\text{Batt,entl}}$ und einer Spannungsbegrenzung durch Aktivmasseverlust der Batterieelektroden $\Delta U_{e,\text{grenz}}$ bestimmt ist. In Schritt 21 von Fig. 3b wird für jeden Iterationsschritt k überprüft, ob die Elektrolytspannung $U_{e,k+1}'$ kleiner oder gleich der kritischen Elektrolytspannung ist. Falls ja, wird in Schritt 22 ein entsprechendes Flag $\text{flag}_{U_{e,\text{krit}}}$ auf logisch „1“ (TRUE) gesetzt. Die entnehmbare Ladung Q_e bei diesem Entladeschlusskriterium ist daher $Q_{e,U_{e,\text{krit}}} = q_{k+1}'$ und die Zeitdauer bis zum Erreichen des Entladeschlusskriteriums ist $t_{e,U_{e,\text{krit}}} = t_{k+1}'$.

40

- 5 In Schritt 24 wird, vorzugsweise parallel zu Schritt 21, überprüft, ob ein zweites Entladeschlusskriterium erreicht wurde. Dabei wird überprüft, ob die Batteriespannung $U_{\text{Batt},k+1}'$ kleiner oder gleich einer vorgegebenen minimalen Batteriespannung $U_{\text{Batt},\text{min}}$ ist. Falls ja, wird wiederum ein
- 10 spezifisches Flag mit der Bezeichnung $\text{flag}_{U_{\text{Batt},\text{min}}}$ auf TRUE gesetzt. Die entnehmbare Ladung $Q_{e,U_{\text{Batt},\text{min}}} = q_{k+1}'$, und die Zeit $t_{e,U_{\text{Batt},\text{min}}}$ bis zum Erreichen dieses Entladeschlusskriteriums ist $t_{e,U_{\text{Batt},\text{min}}} = t_{k+1}'$.
- 15 In Schritt 26 (siehe Fig. 3c) wird schließlich überprüft, ob das dritte Entladeschlusskriterium, nämlich eine erforderliche Mindestleistungsfähigkeit der Batterie, erreicht wurde. Hierbei wird überprüft, ob eine an einer vorgebbaren Last abfallende Lastspannung U_{Last} während eines
- 20 vorgegebenen Laststromverlaufs I_{Last} kleiner oder gleich einer minimalen Lastspannung $U_{\text{Last},\text{min}}$ werden würde, wenn die Last zu einem vorgebbaren Zeitpunkt eingeschaltet werden würde. Die Lastspannung U_{Last} ist also diejenige Spannung, die sich an der Last oder z.B. an der Batterie einstellt, wenn die Last
- 25 mit einem vorgegebenen Laststromverlauf I_{Last} für eine vorgegebene Zeit t_{Last} eingeschaltet werden würde. Diese Berechnung hat den Hintergrund, dass für die Zeitdauer t_{Last} sichergestellt sein soll, dass die Netzspannung (oder Lastspannung) nicht unter einen vorgegebenen Mindestwert
- 30 sinkt und die Last während ihrer Betriebsdauer t_{Last} ausreichend versorgt wird. Zur Berechnung der Lastspannung U_{Last} , die sich nach einer vorgegebenen Einschaltzeit t_{Last} einstellt, ist der Spannungsprädiktor 3 vorgesehen. Dieser berechnet anhand der bekannten Modelle für die Zustandsgrößen
- 35 $U_{\text{Co}}, U_k, U_e, \Delta U_{\text{Nernst}}, U_{\text{Ri}}$ und U_D die Batteriespannung U_{Batt} (Schritt 36) bei einem vorgegebenen Laststromverlauf I_{Last} und über eine vorgegebene Last-Einschaltdauer t_{Last} . Der minimale Wert der Batteriespannung U_{Batt} aus allen Iterationsschritten (Schritt 37) nach Ablauf der Last-Einschaltdauer t_{Last}
- 40 (Schritt 38) ist gleich der Lastspannung U_{Last} (Schritt 39).

5 Der Spannungsprädiktor 3 nutzt in den Blocks 30 bis 36 die gleichen Berechnungsmodelle wie der Ladungsprädiktor für die Berechnung der Batterie-Zustandsgrößen, mit dem Unterschied, dass der Berechnung ein Laststromverlauf I_{Last} zugrunde gelegt wird. Der Laststromverlauf I_{Last} ist z.B. der Strom, den eine
10 Last, wie z.B. der Startermotor in einem Kfz zum Betrieb benötigt. Laststromverlauf I_{Last} Einschaltdauer t_{Last} können z.B. von einer Steuereinheit vorgegeben werden. Es gilt:

$$q_{k+1}'' = q_k'' + I_{Last} * t_{sample}$$

15

$$t_{k+1}'' = t_k'' + t_{sample}$$

In Block 26 wird die bei der Lastsimulation auftretende minimale Batteriespannung U_{Last} mit einem Schwellenwert $U_{Last,min}$
20 verglichen und festgestellt, ob die minimale Lastspannung U_{Last} kleiner oder gleich der Spannung $U_{Last,min}$ ist.

Die Berechnung der minimalen Spannung U_{min} bei vorgegebenem Laststrom I_{Last} durch den Spannungsprädiktor 3 wird in jedem
25 Iterationsschritt des Ladungsprädiktors 2 durchgeführt. Wenn die Simulation ergibt, dass die Mindestleistungsfähigkeit erreicht ist ($U_{Last} \leq U_{Last,min}$), so wird ein spezifisches Flag mit der Bezeichnung $flag_{U_{Last,min}}$ auf TRUE gesetzt. Die entnehmbare Ladung Q_e bis zu diesem 3. Entladeschluss-
30 kriterium ist:

$$Q_{e,U_{Last,min}} = q_{k+1}'.$$

Bei dem vorgegebenen Entladestrom $I_{Batt,entl}$ wird die
35 Mindestleistungsfähigkeit der Batterie in einer Zeit

$$t_{e,U_{Last,min}} = t_{k+1}' \text{ erreicht (Block 27).}$$

Falls die Entladeschlusskriterien in den Schritten 21, 24 und
40 26 nicht erreicht worden sind, so wird, ebenso wie nach den Blöcken 22, 25 und 27, in Schritt 28 überprüft, ob alle drei

5 Entladeschlusskriterien gleichzeitig erfüllt sind. Falls ja, wird der minimale Wert der entnehmbaren Ladungen $Q_{e,U_{ekrit}}$, $Q_{e,U_{Battmin}}$, $Q_{e,U_{Lastmin}}$ als maximal entnehmbare Ladung ausgegeben. Gleichzeitig kann auch die zugehörige Zeitdauer t_e ausgegeben werden. Falls Nein, wird die Berechnung fortgesetzt.

10

Bei konstantem Entladestrom $I_{Batt,entl} = \text{konstant}$ und konstanter Temperatur $T_{Batt,entl} = \text{konstant}$ können die Zustandsgrößen $U_{Co'}$ und U_k' sowie die Batteriespannung U_{Batt}' auch analytisch berechnet werden, so dass die rechenzeitintensive iterative
15 Berechnung nach Fig. 3a durch den Ladungsprädiktor 2 entfallen kann.

5. Festlegung des ersten Entladeschlusskriteriums

20 Die aus einer Batterie entnehmbare Ladung hängt im wesentlichen von der im Elektrolyt enthaltenen Säure ab. Daneben ist das Entladeende zweitens auch abhängig von der beim Entladevorgang zugänglichen Aktivmasse (Pb, PbO_2 bei Bleiakkumulatoren) in den Elektroden der Batterie und
25 drittens der Elektrolytvereisung bei niedrigen Temperaturen. Die Genauigkeit der entnehmbaren Ladung kann unter Berücksichtigung wenigstens eines der vorstehend genannten Effekte wesentlich verbessert werden.

30 5.1. Säurebegrenzung

Bei neuen Batterien und Batterien mit geringem Aktivmasseverlust ist die Entladung der Batterie im wesentlichen durch die im Elektrolyt enthaltene Säure
35 begrenzt (Säurebegrenzung). Bei der Berechnung der entnehmbaren Ladung durch den Ladungsprädiktor wird für die Säurekonzentration am Reaktionsort (Elektroden) die hierzu proportionale Elektrolytspannung U_e verwendet. Typische Grenzwerte für neue Batterien sind z.B. $U_{e,krit, Säure} = 11,5 \text{ V}$
40 bei Entladeende (siehe Ast b in Fig. 4).

5 5.2. Aktivmassebegrenzung

Bei Batterien mit höherem Aktivmasseverlust tritt das Entladeende (die Batterie liefert keine Ladung mehr) durch Verarmung der für die Entladereaktion zur Verfügung stehenden Aktivmasse (Pb, PbO_2) bereits bei höheren Spannungen ein. Fig. 4 zeigt diese Verschiebung der kritischen Elektrolytspannung $U_{e,krit}$ um einen Wert $\Delta U_{e,grenz}$ hin zu höheren Spannungen (von 11,5 auf 12V; von Ast b nach Ast c). Unter Berücksichtigung der Aktivmassebegrenzung kann daher folgende Beziehung angesetzt werden:

$$U_{e,krit,Masse} = 11,5 \text{ V} + \Delta U_{e,grenz}$$

20 5.3. Elektrolytvereisung

Bei Temperaturen von weniger als -10°C kann, insbesondere bei niedriger Säurekonzentration, eine Elektrolytvereisung auftreten. Dabei wird die Zufuhr von Säure zum Reaktionsort an den Elektroden gehemmt, so dass eine niedrigere Säurekonzentration an den Elektroden vorliegt (siehe Ast a in Fig. 4). Für die kritische Elektrolytspannung kann dabei folgende temperaturabhängige Beziehung angesetzt werden:

$$U_{e,krit,Eis}(T_{Batt}) = 11,423\text{V} - 0,0558\text{V} \cdot (T_{Batt}/^\circ\text{C}) - 0,0011\text{V} \cdot (T_{Batt}/^\circ\text{C})^2 - 1,0 \cdot 10^{-5}\text{V} \cdot (T_{Batt}/^\circ\text{C})^3$$

Unter Berücksichtigung aller drei Effekte kann für das erste Entladeschlusskriterium (Erreichen einer minimalen Elektrolytspannung U_e) folgende Beziehung verwendet werden:

$$U_e = U_{e,krit} = \max(U_{e,krit,Säure}, U_{e,krit,Masse}, U_{e,krit,Eis})$$

Fig. 4 zeigt nochmals den resultierenden Verlauf der kritischen Elektrolytspannung $U_{e,krit}$ in Abhängigkeit von der Batterietemperatur T_{Batt} und $\Delta U_{e,grenz}$.

5 17.12.2002

Bezugszeichenliste

10	.	
1		Zustandsgrößen- und Parameterschätzer
2		Ladungsprädiktor
3		Spannungsprädiktor
10-15		Berechnungsschritte des Ladungsprädiktors
15	20-28	Überprüfung des Entladeschlusses
	30-39	Berechnungsschritte des Spannungsprädiktors
	Z	Zustandsgrößen
	P	Parameter
	U_{Batt}	Batteriespannung
20	I_{Batt}	Batteriestrom
	T_{Batt}	Batterietemperatur
	$I_{\text{Batt,entl}}$	Entladestromverlauf
	$T_{\text{Batt,entl}}$	Temperaturverlauf
	Q_e, U_e, krit	entnehmbare Ladung bis zum Erreichen der
25		Kritischen Elektrolytspannung
	Q_e, U_{Battmin}	entnehmbare Ladung bis zum Erreichen der
		Minimalen Batteriespannung
	Q_e, U_{Lastmin}	entnehmbare Ladung bis zum Erreichen der
		Mindestleistungsfähigkeit
30	t_e	Zeitdauer bis zum Erreichen des
		Entladeschlusses
	I_{Last}	Laststrom
	U_{Last}	Lastspannung
	R_i	ohmscher Innenwiderstand
35	U_{Co}	Ruhespannung
	U_k	Konzentrationspolarisation
	U_{Ri}	Spannungsabfall am ohmschen Widerstand
	R_k	Säurediffusionswiderstand
	ΔU_{Nernst}	Spannungsdifferenz zwischen Elektrodenpotential
40		und Elektrolytspannung
	U_e	Elektrolytspannung

- 5 U_D Durchtrittspolarisation
 $U_{e,krit}$ kritische Elektrolytspannung
 $U_{Batt,min}$ minimale Batteriespannung
 $U_{Last,min}$ minimale Lastspannung

5

Patentansprüche

10

1. Vorrichtung zum Ermitteln der aus einem Energiespeicher, insbesondere einer Batterie, bis zu einem vorgegebenen Entladeschluss entnehmbaren Ladung (Q_e), gekennzeichnet durch

- 15 - einen Ladungsprädiktor (2), der die bei einem vorgegebenen Entladestromverlauf ($I_{\text{Batt,entl}}$) aus dem Energiespeicher entnehmbare Ladung (Q_e) auf der Grundlage eines mathematischen Energiespeichermodells berechnet, das die elektrischen Eigenschaften des Energiespeichers mathematisch darstellt, und
- 20 - einen Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1), der aus aktuellen Betriebsgrößen ($U_{\text{Batt}}, I_{\text{Batt}}, T_{\text{Batt}}$) des Energiespeichers Zustandsgrößen (Z) und/oder Parameter (P) für das mathematische Energiespeichermodell ermittelt.

- 25 2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Energiespeichermodell ein Batteriemodell ist, das wenigstens ein mathematisches Modell für den Innenwiderstand (R_i), einen Säurediffusionswiderstand (R_k) und eine Durchtrittspolarisation (U_D) umfasst.

30

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) als Zustandsgrößen (Z) wenigstens eine Ruhespannung (U_{co}) und eine Konzentrationspolarisation (U_k)
- 35 ermittelt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) ferner eine Durchtrittspolarisation (U_D) ermittelt.

40

- 5 5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüchen,
dadurch gekennzeichnet, dass der Ladungsprädiktor (2) die
entnehmbare Ladung (Q_e) bis zum Erreichen einer vorgegebenen
minimalen Elektrolytspannung ($U_{e\min}$) ermittelt, die ein erstes
Entladeschlusskriterium darstellt.
- 10 6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüchen,
dadurch gekennzeichnet, dass der Ladungsprädiktor (2) die
entnehmbare Ladung (Q_e) bis zum Erreichen einer minimalen
Spannung ($U_{Batt\min}$) des Energiespeichers ermittelt, die ein
15 zweites Entladeschlusskriterium darstellt.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüchen,
dadurch gekennzeichnet, dass der Ladungsprädiktor (2) die
entnehmbare Ladung (Q_e) bis zum Erreichen einer vorgegebenen
20 Mindestleistungsfähigkeit ($U_{Last\min}$) ermittelt, die ein drittes
Entladeschlusskriterium darstellt.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüchen,
dadurch gekennzeichnet, dass ein Spannungsprädiktor
25 vorgesehen ist, dem ein Laststromverlauf (I_{Last}) vorgebar ist
und der in Abhängigkeit vom Laststrom (I_{Last}) eine zugehörige
Lastspannung (U_{Last}) ermittelt, die sich aufgrund des
vorgegebenen Laststromverlaufs (I_{Last}) einstellen würde.
- 30 9. Verfahren zum Ermitteln der aus einem Energiespeicher,
insbesondere einer Batterie, bis zu einem vorgegebenen
Entladeschluss entnehmbaren Ladung (Q_e), gekennzeichnet durch
folgende Schritte:
- Berechnen der bei einem vorgegebenen Entladestromverlauf
35 ($I_{Batt,Entlade}$) aus dem Energiespeicher entnehmbaren Ladung
(Q_e) mit Hilfe eines Ladungsprädiktors (2) auf der
Grundlage eines mathematischen Energiespeichermodells, das
die elektrischen Eigenschaften des Energiespeichers
mathematisch darstellt, und
 - 40 - Ermitteln von Zustandsgrößen (Z) und/oder Parametern (P)
für das mathematische Energiespeichermodell aus aktuellen

- 5 Betriebsgrößen (U_{Batt} , I_{Batt} , T_{Batt}) des Energiespeichers mit
Hilfe eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers (1).
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass
der Ladungsprädiktor (2) eine bis zum Erreichen einer
10 vorgegebenen Mindestleistungsfähigkeit (U_{Lastmin}) entnehmbare
Ladung (Q_e) berechnet, wobei eine Lastspannung (U_{Last})
berücksichtigt wird, die dem Ladungsprädiktor (2) von einem
Spannungsprädiktor (1) zugeführt wird, der die Lastspannung
(U_{Last}) in Abhängigkeit von einem vorgegebenen
15 Laststromverlauf (I_{Last}) ermittelt.

1 / 6

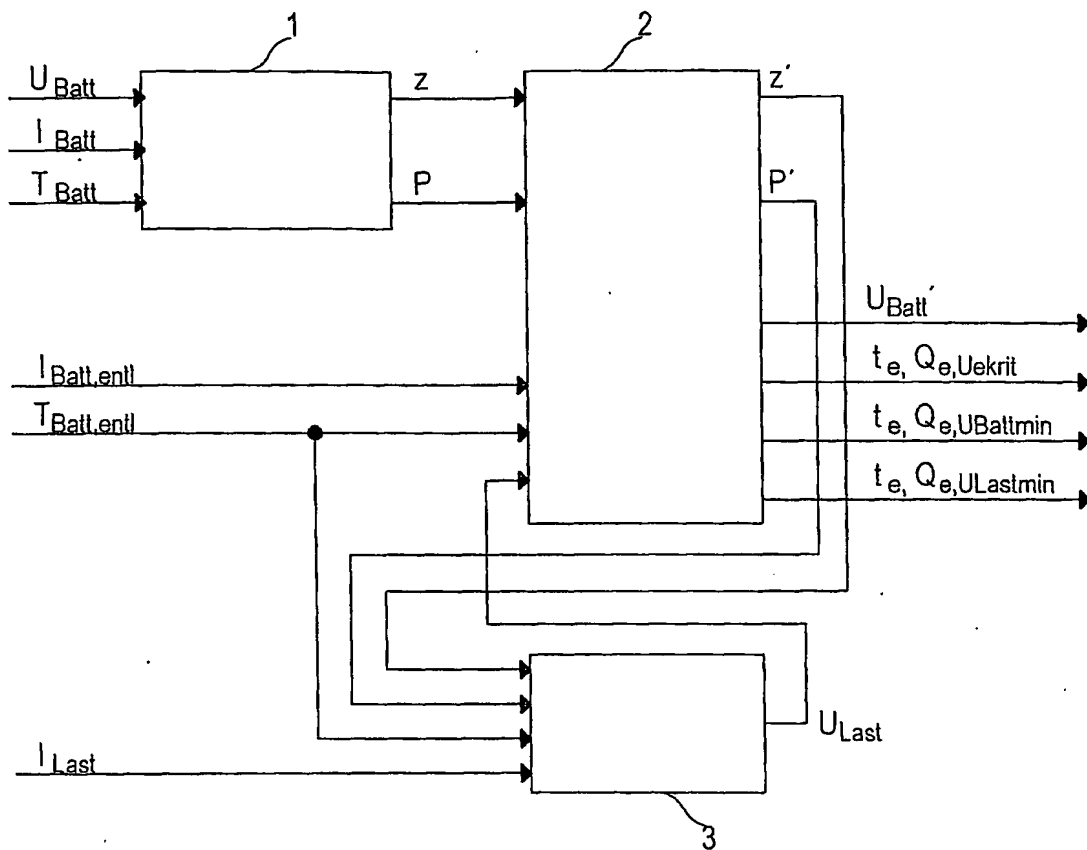


Fig. 1

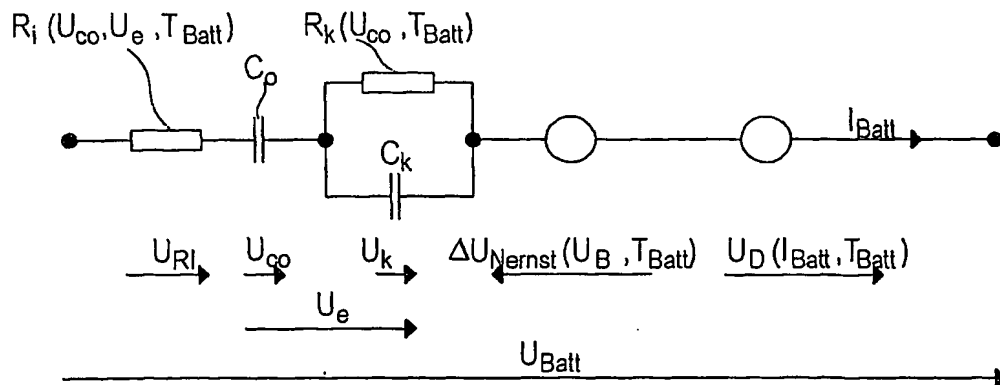


Fig. 2

2 / 6

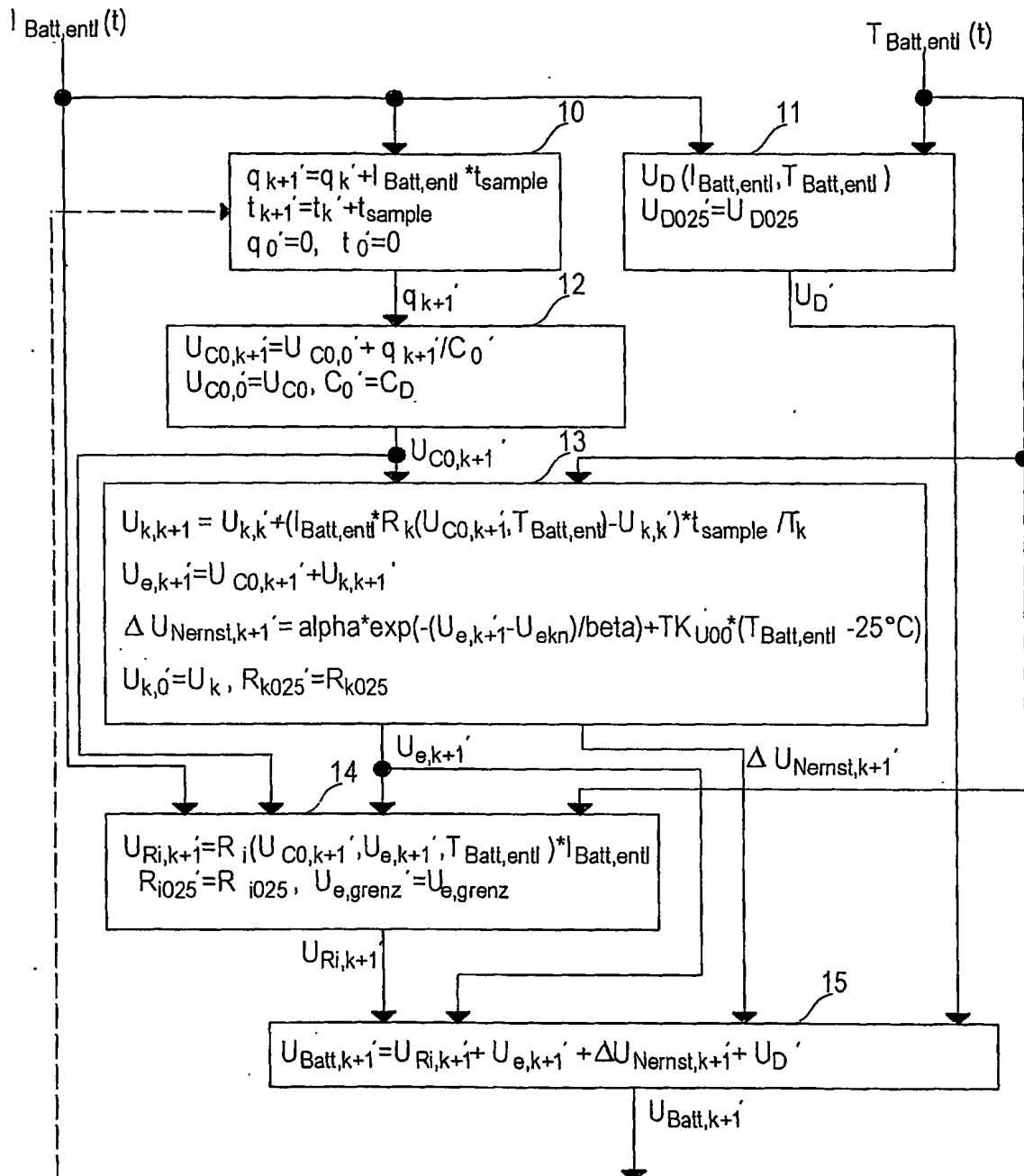


Fig. 3a

3 / 6

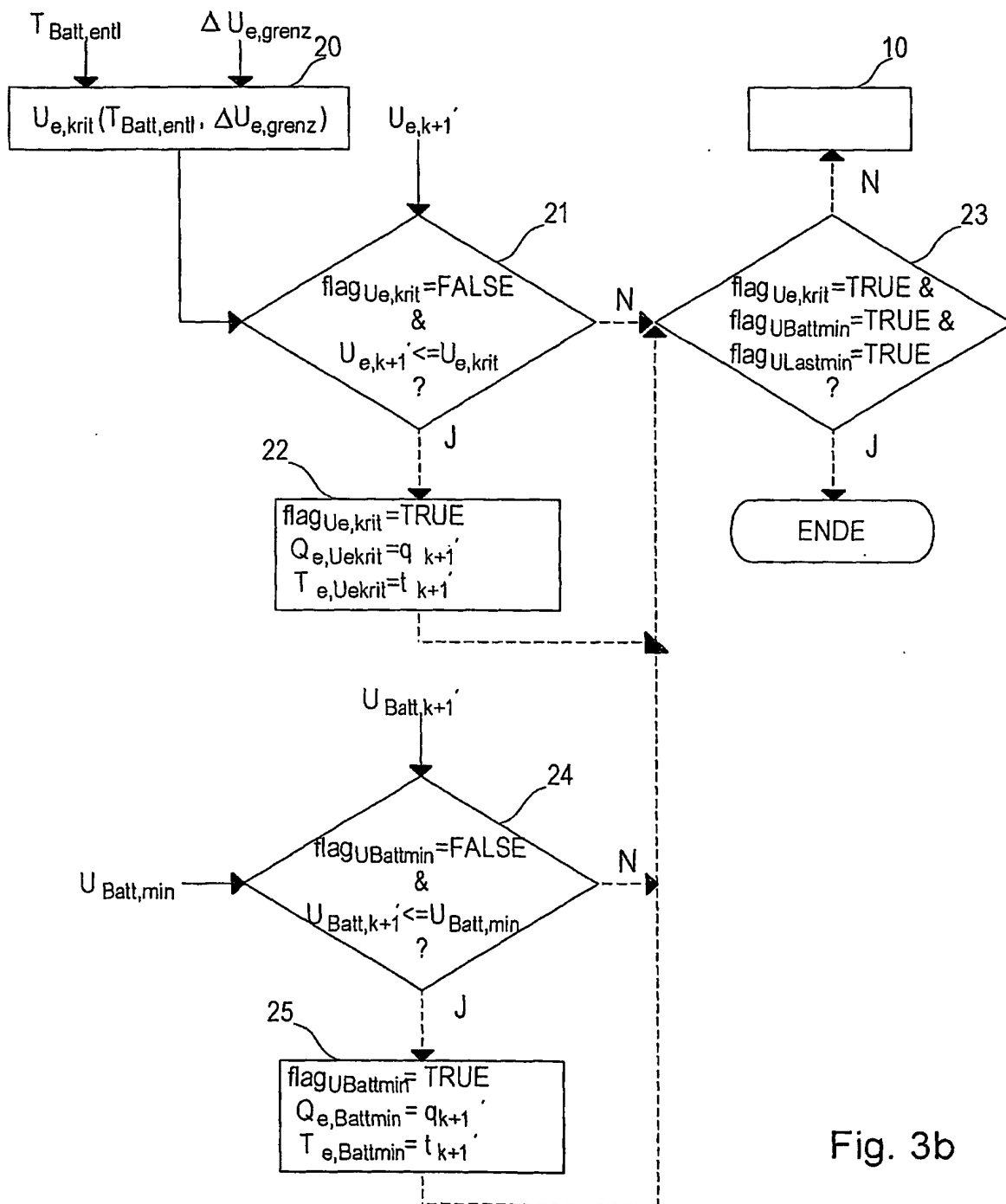


Fig. 3b

4 / 6

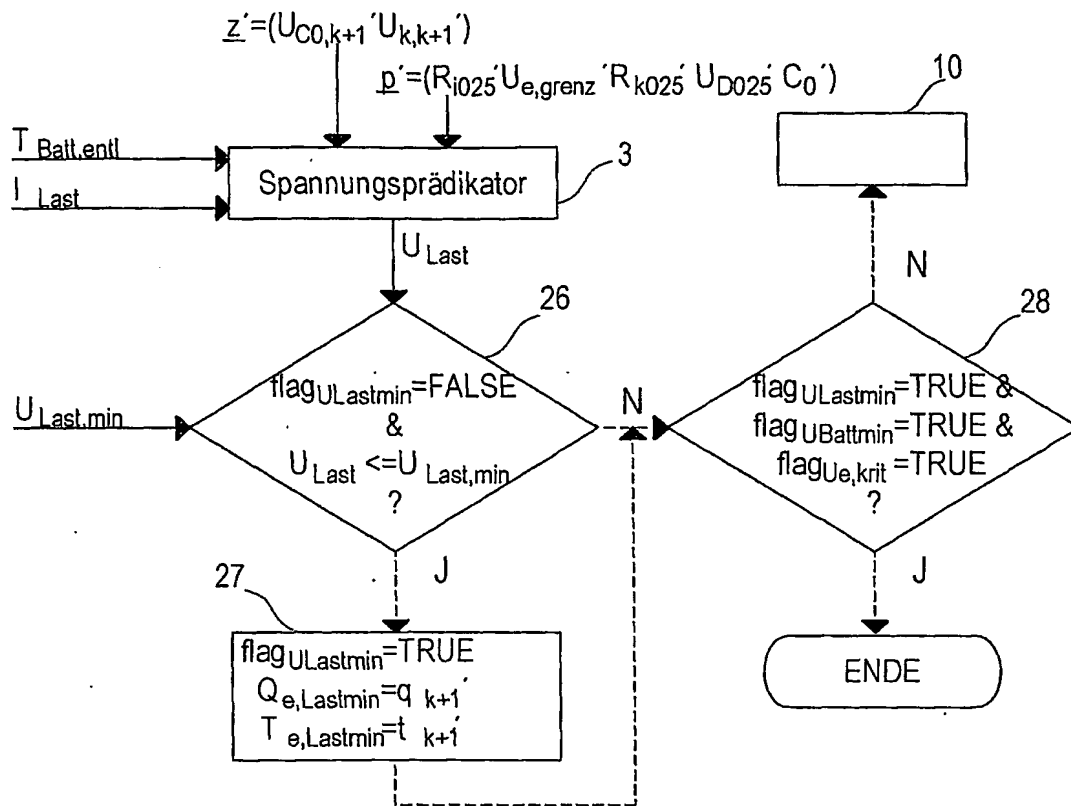


Fig. 3c

5 / 6

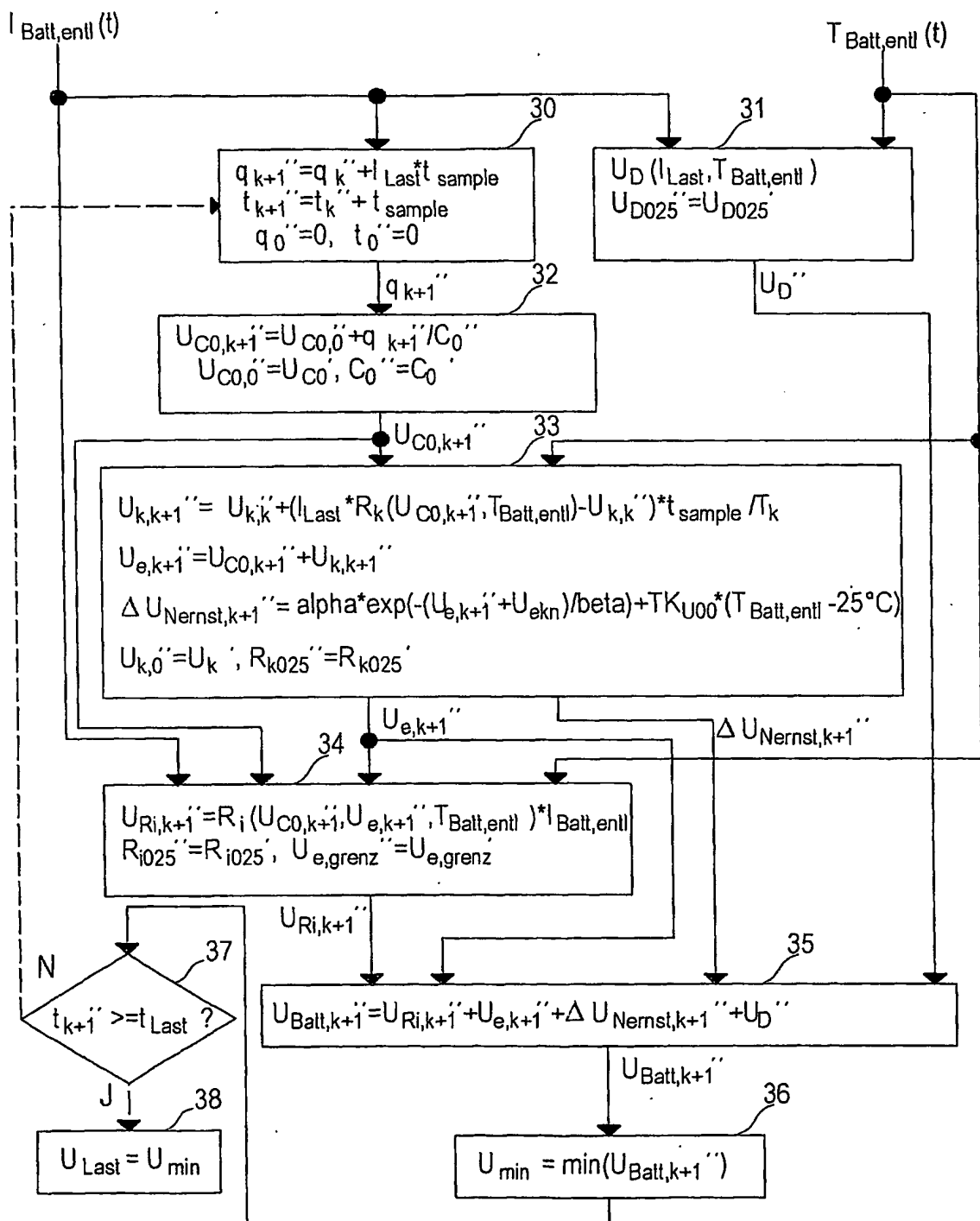


Fig. 3d

6 / 6

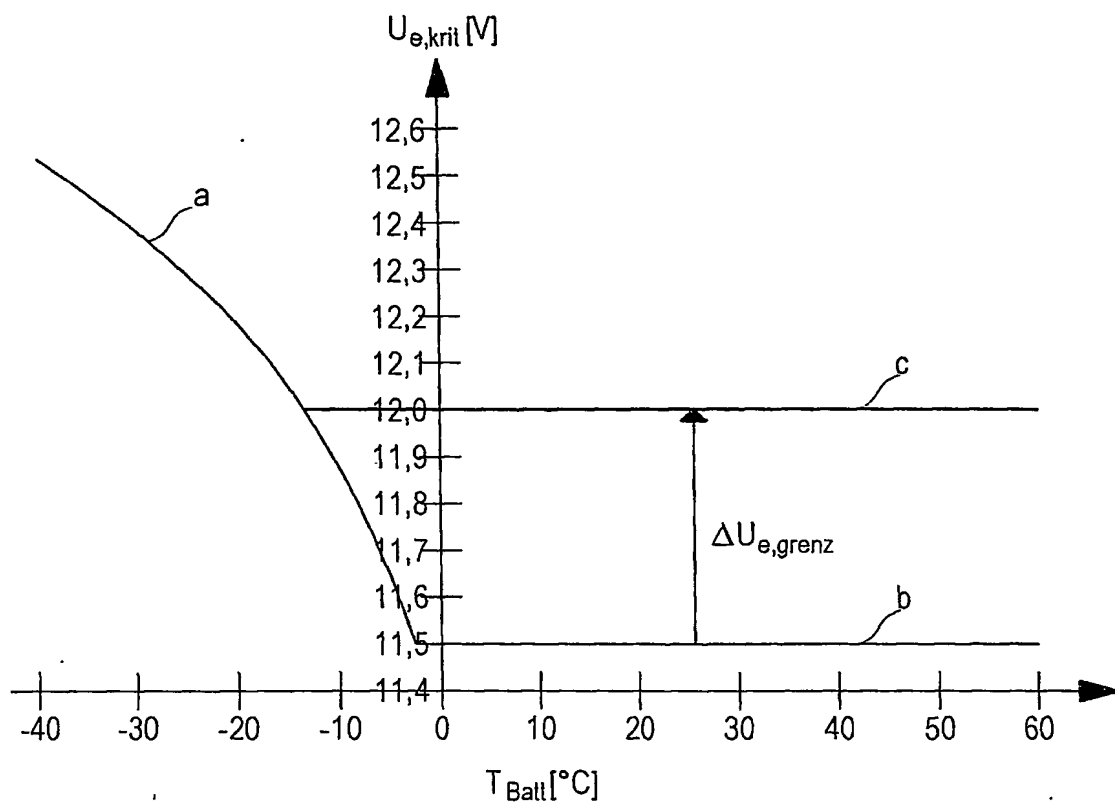


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 03/03232

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01R31/36

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 90 13823 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 15 November 1990 (1990-11-15) column 8, paragraphs 4,5 figures 2,3	1-10
Y	DE 102 03 810 A (BOSCH GMBH ROBERT) 16 January 2003 (2003-01-16) page 3, paragraphs 18,19	1-10
A	PILLER S ET AL: "Methods for state-of-charge determination and their applications" JOURNAL OF POWER SOURCES, ELSEVIER SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH, vol. 96, no. 1, 1 June 2001 (2001-06-01), pages 113-120, XP004298736 ISSN: 0378-7753 page 118; figures 5,6	2,4

-/--

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

18 March 2004

Date of mailing of the International search report

29/03/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lopez-Carrasco, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 03/03232

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 420 530 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 3 April 1991 (1991-04-03) column 7, line 2 - line 30 -----	5-7
A	WO 89 01169 A (FORD WERKE AG ; FORD FRANCE (FR); FORD MOTOR CO (GB); FORD MOTOR CO) 9 February 1989 (1989-02-09) cited in the application page 23, line 25 - page 25, line 22 figure 12 -----	1,9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/03232

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9013823	A	15-11-1990	AT 94651 T	15-10-1993
			AU 5555790 A	29-11-1990
			DE 4014737 A1	15-11-1990
			WO 9013823 A1	15-11-1990
			DE 59002764 D1	21-10-1993
			EP 0471698 A1	26-02-1992
			ES 2045915 T3	16-01-1994
			JP 4505660 T	01-10-1992
			US 5349540 A	20-09-1994
DE 10203810	A	16-01-2003	DE 10203810 A1	16-01-2003
			WO 03005052 A1	16-01-2003
			US 2004032264 A1	19-02-2004
EP 0420530	A	03-04-1991	US 4952862 A	28-08-1990
			DE 69017573 D1	13-04-1995
			DE 69017573 T2	19-10-1995
			EP 0420530 A1	03-04-1991
			ES 2069020 T3	01-05-1995
			JP 2114771 C	06-12-1996
			JP 3122581 A	24-05-1991
			JP 8020495 B	04-03-1996
WO 8901169	A	09-02-1989	DE 3882374 D1	19-08-1993
			DE 3882374 T2	28-10-1993
			EP 0376967 A1	11-07-1990
			WO 8901169 A1	09-02-1989

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/03232

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01R31/36

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G01R

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 90 13823 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 15. November 1990 (1990-11-15) Spalte 8, Absätze 4,5 Abbildungen 2,3	1-10
Y	DE 102 03 810 A (BOSCH GMBH ROBERT) 16. Januar 2003 (2003-01-16) Seite 3, Absätze 18,19	1-10
A	PILLER S ET AL: "Methods for state-of-charge determination and their applications" JOURNAL OF POWER SOURCES, ELSEVIER SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH, Bd. 96, Nr. 1, 1. Juni 2001 (2001-06-01), Seiten 113-120, XP004298736 ISSN: 0378-7753 Seite 118; Abbildungen 5,6	2,4



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. März 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

29/03/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Lopez-Carrasco, A

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/03232

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 420 530 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 3. April 1991 (1991-04-03) Spalte 7, Zeile 2 - Zeile 30 -----	5-7
A	WO 89 01169 A (FORD WERKE AG ; FORD FRANCE (FR); FORD MOTOR CO (GB); FORD MOTOR CO) 9. Februar 1989 (1989-02-09) in der Anmeldung erwähnt Seite 23, Zeile 25 - Seite 25, Zeile 22 Abbildung 12 -----	1,9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/03232

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9013823 A	15-11-1990	AT 94651 T AU 5555790 A DE 4014737 A1 WO 9013823 A1 DE 59002764 D1 EP 0471698 A1 ES 2045915 T3 JP 4505660 T US 5349540 A	15-10-1993 29-11-1990 15-11-1990 15-11-1990 21-10-1993 26-02-1992 16-01-1994 01-10-1992 20-09-1994
DE 10203810 A	16-01-2003	DE 10203810 A1 WO 03005052 A1 US 2004032264 A1	16-01-2003 16-01-2003 19-02-2004
EP 0420530 A	03-04-1991	US 4952862 A DE 69017573 D1 DE 69017573 T2 EP 0420530 A1 ES 2069020 T3 JP 2114771 C JP 3122581 A JP 8020495 B	28-08-1990 13-04-1995 19-10-1995 03-04-1991 01-05-1995 06-12-1996 24-05-1991 04-03-1996
WO 8901169 A	09-02-1989	DE 3882374 D1 DE 3882374 T2 EP 0376967 A1 WO 8901169 A1	19-08-1993 28-10-1993 11-07-1990 09-02-1989